©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beiträge zur Theorie der Resonanz fester Körper mit Rücksicht auf das Mitschwingen der Luft.

Von **Prof. Dr. Stern.**

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. Februar 1871.)

In dem Aufsatz: „Über die Resonanz der Luft im freien Raume" vom März v. J. wurde der Nachweis des Satzes versucht, dass die freie Luft an der Bildung des scheinbar von festen Körpern und geschlossenen Lufträumen ausgehenden Schalles sich wesentlich und selbstständig betheilige, am Schlusse wurde auch noch im Hinblick auf theoretische Deductionen die Möglichkeit hervorgehoben, dass die Intensität des Schalles nicht blos von der Amplitude, sondern innerhalb gewisser Grenzen auch noch von der Form der Schwingungsbahnen abhängen dürfte. Die nachfolgenden Beobachtungen mögen nun dazu dienen, beide diese Sätze theils weiter zu erhärten, theils zu vervollständigen, und vielleicht auch einiges zur Theorie der Klangfarben beizutragen. Die Beobachtungen beziehen sich auf die Art der Resonanz verschiedener Platten im Contact mit Stimmgabeln. Benützt wurden ausser einer kräftigen Normal-Stimmgabel auf a' noch eine um eine Quatuordecime tiefere, auf H gestimmte.

Die Dimensionen beider in Centimetern sind folgende: Bei der a'-Gabel: Länge der Zinken $11\frac{3}{4}$, Breite an der Basis $1\frac{1}{2}$, am freien Ende 1, Durchmesser des halbkreisförmigen Verbindungsstückes 1·6. Dicke 0·65; bei der H-Gabel: Länge $14\frac{3}{4}$, Breite durchwegs gleich $1\frac{1}{2}$, Verbindungsstück 2 Cm. im Durchmesser, Dicke 0·6; Länge des Stieles bei beiden circa 4·2.

Im allgemeinen gibt die H-Gabel eine etwas schwächere Resonanz, muthmasslich weil sie etwas dünner ist. Die Platten von verschiedener Grösse und Dicke wurden von hartem und weichem Holz, Glas, Stein und Eisen genommen. Bezüglich der dünnern Weichholzplatten muss bemerkt werden, dass die Stärke ihrer Resonanz unter andern auch wesentlich davon abhängt, wie

die Jahresringe des Holzes zur Plattenfläche liegen, namentlich ist die Resonanz auch stärker, wenn der Gabelstiel auf dem härtern dichtern Theil der Holzringe, als wenn er auf dem weichern Theil aufsitzt. Bezüglich der Glas-, Stein- u. Metallplatten hingegen ist zu bemerken, dass sie im Beginne der Berührung mit der Gabel häufig einen sehr schrillen, hohen, unterbrochenen Ton hören lassen, der erst allmälig in den gleichmässigen normalen Resonanzton übergeht.

Die Variation der Resonanz dieser verschiedenen Platten bezieht sich nun nicht blos auf deren Stärke, sondern auch auf ihre Klangfarbe, und, was mitunter recht deutlich, auch auf ihre Höhe, doch bewegen sich die Differenzen in letzterer Beziehung immer nur in ganzen Octaven.

Die Stärke der Resonanz ist unter den erwähnten Stoffen beim weichen Holz am grössten, auf dieses folgt Hartholz, und dann erst die dichtern Stoffe. Diese Angabe bezieht sich nur auf das Maximum der Resonanzstärke, die ein Stoff überhaupt erreicht; so dass z. B. die Resonanz irgend einer Hartholz- oder Steinplatte immerhin möglicherweise stärker sein kann, als die einer ganz gleichen Weichholzplatte.

Es ergibt sich dies aus folgenden Thatsachen: Setzt man die a'-Gabel auf verschieden grosse Platten von weichem und correspondirende von hartem Holz, so überwiegt die Resonanz der Hartholzplatten nur bis zur Dicke von 3—4‴, und zwar um so deutlicher, je geringer die Dicke unter dieser Grenze. Hingegen überwiegt die Resonanz der Weichholzplatte oberhalb dieser Grenze der Dicke um so deutlicher, je grösser diese letztere. Glas, Stein und Eisen verhalten sich beiden Holzarten gegenüber analog bis zur Plattendicke von circa 1‴. Unter einander gleichen sie sich bezüglich der Stärke ihrer Resonanz ungefähr bis zu einer Plattendicke von 3‴; bei grösserer Dicke wird die Resonanz von Eisen merklich schwächer.

Schon hieraus zeigt sich der Einfluss einer Plattendimension, nämlich der Dicke, auf die Stärke der Resonanz; noch deutlicher zeigt sich aber der Einfluss sämmtlicher Dimensionen aus folgendem: Setzt man die a'-Gabel auf Weichholzplatten von 3″ Länge, 2″ Breite und 3‴ Dicke, so ist die Resonanz derselben kaum hörbar; bei gleicher Länge und Breite, aber 1″ Dicke hingegen ist

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dieselbe merklich stärker. Eine Platte von 6″ Länge, 4″ Breite und 3‴ Dicke resonirt wieder merklich stärker als die frühere, und eine mit gleicher Länge und Breite, aber 1″ Dicke abermals stärker; doch ist im letzteren Falle die Dauer des Resonanztones wesentlich kürzer bei der dickern als bei der dünnern Platte. Eine Platte von 12″ und noch grösserer Länge, aber nur 4″ Breite resonirt nicht stärker als eine von 6″ Länge, hingegen nimmt die Stärke der Resonanz mit einer gleichmässigen oder wenigstens annähernd gleichen Zunahme der Breite auffallend zu, so z. B. resonirt eine 18″ lange, mindestens 12″ breite und bis zu 1″ dicke Platte auffallend stark, so dass für die a'-Gabel bei dieser Platte ein gewisses Maximum der Resonanzstärke erreicht zu sein scheint. Bei weiterer Zunahme der Länge und Breite, aber unveränderter Dicke (1″), nimmt die Stärke der Resonanz um ein unbedeutendes ganz langsam ab, aber nur bis zu einer gewissen Grenze, jenseits welcher dieselbe unverändert bleibt. Bei Zunahme der Dicke über 1″ und unveränderter Länge und Breite, nimmt die Stärke der Resonanz viel rascher und bedeutender ab, um jenseits einer bestimmten Grenze unverändert zu bleiben. Bei gleichmässiger Zunahme aller Dimensionen nimmt die Resonanzstärke langsamer ab als im zweiten Falle, aber schneller als im ersten.

In all den bisher angeführten Fällen wurde die Gabel in der Mitte der Platte aufgesetzt, und war die Resonanz *caeteris paribus* etwas schwächer, wenn die Berührung von der Mitte entfernt stattfand. Doch sind die bezüglichen Unterschiede nur sehr gering, bei den grösseren dickern Platten, die nicht quadratisch sind, fast null; auch ist die Abnahme der Stärke keine gleichmässige. Die Art und Weise, wie die Platten gehalten oder unterstützt werden, ist wenigstens beim Holz gleichgiltig, wenn nur die Berührung des Gabelstieles mit der Platte eine gleichmässig feste ist. Bemerkenswerth ist nur das Verhalten der Resonanz, wenn die Platte mit ihrer ganzen Hauptfläche gegen einen nicht resonirenden Körper, etwa eine Mauer, fest angedrückt wird. Es erscheint nämlich in diesem Falle der Unterschied in der Resonanzstärke bei dünnen und dicken Platten noch viel auffallender, und zwar zu Gunsten der dicken.

Untersucht man die Resonanz mit der *H*-Gabel, so zeigt sich, abgesehen davon, dass sie im allgemeinen etwas schwächer ist,

hauptsächlich noch der Unterschied, dass die Dimensionen der Platten beträchtlich grösser sein müssen, sowohl um eine überhaupt hörbare Resonanz, als auch um ein gewisses Maximum der Resonanzstärke zu liefern. So z. B. gibt die kleinste früher erwähnte Holzplatte mit dieser Gabel gar keine Resonanz, die nächst grössere (6″ Länge 6″ Breite) nur eine viel schwächere als mit der a'-Gabel, während die 18″ lange, 12″ breite und 1″ dicke Platte noch lange nicht das Maximum der Resonanz hören lässt, da dieses erst bei viel grössern, mindestens 24″ langen, entsprechend breiten und dicken Platten gehört wird. — Dieser Unterschied zwischen der a'- und H-Gabel zeigt sich übrigens noch deutlicher bei der Untersuchung von Glas- und Steinplatten. Während die a'-Gabel an 6″ langen, 4″ breiten und über 3‴ dicken Stein- und Eisenplatten eine deutlich hörbare Resonanz erzeugt, wird diese mit der H-Gabel nur sehr schwach. An 5 Glasscheiben mit folgenden Dimensionen in Centimetern:

1:	53	Länge,	33	Breite,
2:	39·3		34	
3:	34·3		33·7	
4:	27·3		22	
5:	10·6		7·5	

die alle mit Ausnahme der Scheibe 2 gleiche Dicke (circa 1‴ haben, während diese um ein sehr geringes dünner ist, zeigen sich folgende Phänomene. Mit der a'-Gabel resonirt Scheibe 3 am stärksten, mit der H-Gabel Scheibe 2; Scheibe 5 resonirt mit ersterer schwach aber noch deutlich vernehmbar, mit letzterer gar nicht. Das Maximum der Resonanz der einzelnen Scheiben zeigt sich nicht überall, wenn die Gabel in der Mitte, sondern bei manchen, wenn sie ausserhalb der Mitte aufgesetzt wird, und sind zwischen beiden Gabeln auch in dieser Beziehung Unterschiede. Die Scheibe 1 resonirt mit der a'-Gabel in der Mitte, mit der H excentrisch am lautesten, die Scheiben 2 und 3 verhalten sich in dieser Beziehung gerade umgekehrt.

Was die Klangfarbe und Höhe der Plattenresonanz anbelangt, so zeigen sich ebenfalls bemerkenswerthe Verschiedenheiten derselben, die aber theilweise mit der Intensität in innigem Zusammenhang stehen. So z. B. findet man, wenn man die Reso-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

nanz kleinerer Holzplatten mit der von grösseren vergleicht, erstere nicht blos schwächer, sondern auch von anderer Klangfarbe, der zu Folge man bei nur flüchtigem Anhören den ersteren Resonanzton für höher zu halten versucht wird. Dies zeigt sich schon beim Vergleichen der 6″ langen und 4″ breiten Platten mit den 12″ und 18″ langen und 12″ breiten. Ähnlich verändert sich aber auch die Klangfarbe dieser grössern, wenn die Resonanz schwächer wird; und zwar tritt diese Klangfarbenverschiedenheit bei der *H*-Gabel deutlicher hervor, als bei der *a'*-Gabel. Sie lässt sich bei letzterer vergleichen mit dem Übergang der Klangfarbe des *a* in die eines Vocals, der zwischen *a* und *ä* steht; bei ersterer mit dem Übergang der Klangfarbe eines zwischen *o* und *u* stehenden Vocals in jene des *ü* oder eines diesem nahestehenden. Beim Vergleichen von dickern mit gleich grossen dünnern Platten lässt besonders die *H*-Gabel diese Klangfarben-Differenz noch deutlicher hervortreten, und zwar entspricht der höher gefärbte Ton (*ü*) der dünnern, der tiefer gefärbte (*u*) der dickern Platte. (Vgl. Helmholtz, Klangfarbe der Vocale).

Analoge Klangfarben-Verschiedenheiten zeigen sich auch bei den Glasscheiben, die grössern geben einen tiefer, die kleinern einen höher gefärbten Ton. — Bei diesen ist aber auch schon der Übergang der höhern Klangfarbe in einen höheren Ton zu constatiren; und zwar bei der *a'*-Gabel minder deutlich als bei der *H*-Gabel. Setzt man letztere an irgend einen Punkt schwächerer Resonanz, so vernimmt man wohl bei allen Scheiben, aber doch am reinsten bei der Scheibe 1 eine höhere Octave des Grundtones. Derselbe Übergang der höhern Klangfarbe in einen höhern Klang ist auch bei Stein- und Metallplatten, die bei 6—8″ Länge, 4—5″ Breite eine Dicke von circa 3‴ haben; bei grösserer Länge und Breite tritt das Höherwerden des Klanges auch erst bei entsprechender Zunahme der Dicke auf. Das Höherwerden beträgt 1 Octave, bei Eisenplatten könnte man es selbst auf 2 Octaven schätzen. Schliesslich ist das Höherwerden des Resonanztones auch noch an Weichholzplatten, wenn selbe mit ihrer ganzen Hauptfläche gegen eine nicht resonirende Wand gedrückt werden, oder wenn man namentlich bei dickern Platten den Gabelstiel auf eine Randfläche setzt, zu constatiren.

Sehr bemerkenswerth ist eine Reihe von Erscheinungen, die hervortreten, wenn resonirende Platten einer parallelen reflectirenden Wand genähert oder von ihr entfernt werden. Sie lassen sich nur bei sorgfältiger wiederholter Beobachtung constatiren.

Die wichtigsten derselben sind folgende:

Die Resonanz irgend einer beliebigen Platte erreicht an Intensität ein gewisses Maximum in einer bestimmten Entfernung von der reflectirenden Wand; bei der Annäherung an letztere wird die Resonanz immer schwächer, und erleidet auch ihre Klangfarbe eine merkliche Veränderung, sie wird nämlich höher; geht sogar in einzelnen Fällen in einen um eine Octave höheren Klang über. Entfernt man die Platte successive von der Stelle des Resonanzmaximums immer weiter, so bemerkt man, namentlich am leichtesten an den dünnern Weichholzplatten von 6″ und 12″ Länge, dass die Veränderungen der Klangintensität in regelmässigen Entfernungen sich wiederholen, es nimmt nämlich die Stärke der Resonanz jenseits der Entfernung ihres Maximums eine Strecke weit wieder ab und in einer weiteren Strecke wieder zu u. s. w.; doch werden diese Veränderungen mit der Zunahme der Entfernung immer schwächer, so dass schon das zweite Ab- und Anschwellen viel schwächer ist als das erste, das dritte und vierte noch schwächer und das noch weiter rückwärts folgende kaum mehr constatirt werden kann. — Kennt man einmal die Erscheinung, so lässt sie sich bei beiden Gabeln an allen möglichen Platten und Scheiben wieder erkennen; es ergeben sich jedoch für verschiedene Gabeln und Platten folgende Verschiedenheiten in dem erwähnten Phänomen:

1. Der Zwischenraum zwischen den Stellen der Resonanz-Maxima und Minima ist bei der tieferen Gabel beträchtlich grösser als bei der höheren.

2. Die Entfernung des ersten Resonanzmaximums von der Wand ist bei grösseren Platten kleiner als bei kleineren; dieser ersten Verschiebung entspricht aber auch eine ganz gleiche der folgenden Minima und Maxima.

3. Das erste Resonanzminimum in unmittelbarer Nähe der Wand lässt bei kleinern (6″) dünneren Platten im Beginne oft einen um eine Octave höheren Ton hören, später aber nicht; dadurch unterscheidet sich dieses erste Resonanzminimum von

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

den weiter rückwärts gelegenen, die blos schwächer, aber sonst während ihrer ganzen Dauer von gleicher Höhe und Farbe sind. Bei den grösseren dünneren Platten vermindert sich mit der höheren Gabel dieser Unterschied fast bis zum Verschwinden; mit der tieferen Gabel jedoch kaum merklich, tritt sogar bei den 12″ langen Platten deutlicher hervor, als bei den kleineren, eben so auch bei sämmtlichen Glasscheiben. Bei sehr grossen Platten ist nur ein einmaliger Wechsel der Schallstärke in unmittelbarer Nähe der Wand zu bemerken, so dass knapp an der Wand ein schwacher, in kurzer Entfernung von ihr ein sehr starker, und jenseits dieser ein sich gleichbleibender Resonanzton gehört wird.

An diese Phänomene reihen sich jene, die an, unter Wasser getauchten Platten auftreten, wobei das Eintauchen selbstverständlich nur so tief gemeint sein kann als der Gabelstiel lang ist. Geschieht das Eintauchen in eine grosse tiefe Wassermasse, so erleidet die Resonanz aller Platten und Scheiben eine mehr minder beträchtliche Schwächung. Geschieht das Eintauchen hingegen in kleinere Wassermassen, z. B. in gewöhnlichen Lavoirs oder kleineren Holzgefässen, so lassen namentlich kleine Platten, deren Resonanz in der Luft kaum gehört wird, merkwürdiger Weise sehr laute, grössere Platten hingegen, die auch in der Luft laut resoniren, lassen meist eine schwächere Resonanz vernehmen.

An den kleineren Platten bemerkt man nun, wenn man sie in höchstens 2—3″ tiefem Wasser dem Boden des Gefässes nähert und wieder entfernt, ganz analoge Resonanzmaxima und Minima wie in der Luft, nur dass sie im Wasser viel kürzere Zwischenräume haben und ihre Lage auch nach der Form des Gefässes variirt, bei kreisrunden z. B. eine ganz andere ist, als bei oblongen, in der Mitte der Fläche ebenfalls häufig eine andere, als an irgend einem excentrischen Punkte. Die laute Resonanz bleibt auch dann, wenn man durch Neigen der Gefässe dem Wasser eine kleinere Oberfläche und grössere Tiefe gibt. In grossen Gefässen, z. B. Badewannen, ist selbst bei seichtem Wasser das Phänomen um vieles schwächer.

Wenn nun auch eine endgiltige, in Details eingehende Analyse aller hier angeführten Phänomene noch nicht möglich ist, so lassen sie sich doch alle, oder wenigstens ein grosser Theil

derselben unter allgemeine Gesichtspunkte zusammenfassen, von welchen aus sich vielleicht für die Theorie mancher Gewinn ergibt.

Zunächst sind hier alle durch eine reflectirende Wand bedingten Veränderungen der Resonanz hervorzuheben. Es kann darüber wohl kaum ein Zweifel aufkommen, dass diese durch Interferenz bedingt sind, und dass namentlich die von den beiden Plattenflächen nach entgegengesetzten Richtungen an die Luft abgegebenen Impulse es sind, die sich nach Reflexion der gegen die Wand gerichteten interferiren. Es ergibt sich dies aus der regelmässigen Wiederkehr der Resonanzmaxima und Minima in gleichen Zwischenräumen, aus der Verschiedenheit dieser Zwischenräume bei verschieden tiefen Tönen, und schliesslich auch aus der regelmässigen Verschiebung der Maximum- und Minimumpunkte mit der Zu- und Abnahme der Plattengrösse. Speciell dürfte dieses letztere Phänomen wohl dieselbe Begründung haben, wie die allmälige Abnahme der Differenz zwischen Maximum und Minimum mit der Entfernung von der reflectirenden Wand. Die in Verdichtungen und Verdünnungen bestehende Bewegung der Luft, die sich im Freien überwiegend in der Richtung der Impulse, d. i. senkrecht auf die Plattenfläche fortpflanzt, muss sich nämlich in der zwischen zwei Ebenen eingeschlossenen Luftmasse gleich im Beginne der Bewegung senkrecht auf diese Richtung, d. i. parallel den Ebenen fortpflanzen. Der Übergang von der erstern in die zweite Fortpflanzungsrichtung muss um so vollständiger erfolgen, je näher die beiden Ebenen aneinander sind. Die Reflexion dieser Bewegungen muss selbstverständlich ebenfalls um so vollständiger stattfinden, auf eine je kleinere Luftmasse die Bewegung im Momente der Reflexion bereits vertheilt ist, d. i. abermals, je näher die beiden Ebenen einander stehen; mithin die durch Reflexion bedingten Interferenz-Phänomene um so schwächer werden, je weiter die Ebenen von einander sind. Wenn nun aber die Fortpflanzung der Verdichtungen — und Verdünnungen parallel den beiden Ebenen vor sich geht, so ist die Phase derselben im Momente des Zusammentreffens mit den von der entgegengesetzten Fläche ausgehenden Bewegungen offenbar auch von der Grösse der Plattenfläche abhängig, so dass die Phasen beider Bewegungen bei grösseren

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Platten nicht in demselben Punkte einander gleich, oder entgegengesetzt sein können, wie bei kleineren.

Ist diese Begründung der hier angezogenen Erscheinungen richtig, so wirft sie ein helles Streiflicht auf das Verhalten des klopfenden Schalles von Platten gegenüber von parallelen Wänden, welches in der Abhandlung „Über die Resonanz der Luft im freien Raume“ erwähnt ist. Zunächst unterscheidet sich zwar dies Verhalten nicht unwesentlich von dem der Stimmgabel-Resonanz; hier wird nämlich der Schall im allgemeinen blos schwächer und stärker, erleidet aber nur ausnahmsweise einen Höhenwechsel, während dort der Höhenwechsel noch mehr hervorsticht als der Intensitätswechsel; ferner sind bei der Gabelresonanz die Wiederholungen in bestimmten Entfernungen genau constatirt, während sie für den klopfenden Schall, wenigstens zur Zeit der obenerwähnten ersten Mittheilung, es noch nicht waren.

Erst nachträglich wurde nun eine abermalige Controle der Untersuchung des klopfenden Schalles vorgenommen und dabei allerdings Thatsachen constatirt, die die Identität der Phänomene in beiden Fällen sehr wahrscheinlich machen. Man bemerkt nämlich, wenn man bei der betreffenden Untersuchung, namentlich auf dünne Platten mit harten Kugeln genau gleichmässig klopft, dass sich ganz schwache Andeutungen von Intensitäts- und Höhenwechsel am Schalle an mehreren regelmässig gelegenen Punkten gegenüber der reflectirenden Wand vorfinden, wobei der Höhenwechsel deutlicher, der Intensitätswechsel nur dadurch angedeutet ist, dass der Schall stellenweise länger hallend und wieder kurz wird. Ebenso bemerkt man, dass die Punkte stärkster und schwächster Resonanz mit der Grösse der Platten sich verschieben.

Zu bemerken ist nur, dass es bei diesen Untersuchungen, selbst bei der grössten Genauigkeit nothwendig ist, dieselben sehr oft zu wiederholen, um zu einer festen objectiven Überzeugung zu gelangen, da der klopfende Schall von einer Unzahl nebensächlicher Bedingungen abhängt, die man kaum alle in jedem Momente übersehen kann.

Was also den Intensitätswechsel am klopfenden Schalle anbelangt, so liegt es wohl nach den vorausgegangenen Bemerkungen sehr nahe, dass selbe gleichen Ursprung haben mit den

analogen Veränderungen der Stimmgabel-Resonanz, und es bliebe nur noch das Phänomen des Höhenwechsels beim klopfenden Schalle aufzuklären. Doch auch bezüglich dieses ist eine gewisse Analogie zwischen den beiden Reihen von Thatsachen kaum zu verkennen, und es dürfte sich eine, wenn auch nur allgemein gehaltene Deutung derselben aus folgendem ergeben.

Vor allem muss die bereits in dem Aufsatz „über die Resonanz der Luft im freien Raume" erörtete Frage: ob die eigentlichen schallgebenden Schwingungen in den festen Körpern vorgebildet seien, oder erst in der Luft gebildet werden, oder von beiden zugleich ausgehen, einer abermaligen Prüfung unterzogen werden; da es nach den mitgetheilten Interferenz-Phänomenen scheinen könnte, als wäre die Annahme einer Betheiligung der Luft an der Schallbildung ganz überflüssig. In dieser Beziehung muss also darauf hingewiesen werden, dass von den drei thatsächlichen Hauptargumenten für die erwähnte Annahme zwei durch die hier mitgetheilten Thatsachen gar nicht berührt werden; dasselbe gilt auch von der theoretischen Deduction, durch die jene Annahme gestützt ist; ferner muss darauf hingewiesen werden, dass die Bildung selbstständiger secundärer Schallschwingungen durch irgend welchen primären, auch in anderen Stoffen constatirt ist, so z. B. das Schallendwerden der Gefässwandungen, wenn im Wasser, welches sie enthalten, feste Körper zusammenstossen (vgl. „Beiträge zur Theorie des gemeinen Schalles" S. 13 und „Über die Resonanz der Luft im freien Raume" S. 7); ebenso die laute Resonanz, welche kleine Platten in Berührung mit Stimmgabeln in seichtem Wasser hören lassen, während sie in der Luft nur sehr schwach resoniren.

Aber selbst das dritte der obenerwähnten drei Hauptargumente wird nicht so ganz hinfällig, wie es auf den ersten Blick scheinen möchte. Es zeigen sich nämlich die Interferenz-Erscheinungen nur dann, wenn die Platten durch transversalen Stoss schallend werden, bei longitudinalem Stoss kaum eine sehr leise Spur; und doch gehen auch bei longitudinalem Stoss von beiden Plattenflächen Impulse an die Luft, ebenso wie bei transversalem. Lässt man eine schwingende Stimmgabel in longitudinaler Richtung auf eine Platte wirken, so zeigt die Resonanz doch hinreichend deutliche Interferenz-Erscheinungen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Es muss mithin zwischen den Schallschwingungen einer Platte nach transversalem und nach longitudinalem Stoss ein wesentlicher Unterschied bestehen, da in letzterem Falle keine Interferenz sich zeigt. Dass auch durch Klopfen entstandene Klänge grosser Platten und Scheiben sich ähnlich verhalten, d. h. der Interferenz nicht unterliegen, während der kurze klopfende Schall derselben, der die Klänge einleitet, ihr ebenso unterliegt, wie bei nicht klingenden Platten wurde ebenfalls bereits erwähnt (Über die Resonanz der Luft im freien Raume S. 5). Ebenso ist es erwähnt (Beiträge zur Theorie des gemeinen Schalles S. 21), dass unter Wasser der durch transversalen Stoss erzeugte Schall von Platten bedeutend geschwächt, und zwar bei dünnern mehr als bei dickern, der durch longitudinalen hingegen verstärkt wird. Diese Thatsache, zusammengehalten mit den beiden frühern zeigt, dass gerade jener Schall, der unter Wasser geschwächt wird, der Interferenz unterliegt. Es ist nun die Frage, warum der durch transversalen Stoss entstehende Schall unter Wasser geschwächt wird? Dass im Wasser als dichterem Medium die grössern transversalen Excursionen mehr gehemmt werden als die kürzern longitudinalen, erklärt das Schwächerwerden des Schalles durchaus nicht, da derselbe bei den an und für sich kürzern und im Wasser gewiss noch mehr abgekürzten longitudinalen wesentlich verstärkt, und sogar stärker wird als jener. Wohl aber erklärt sich die Erscheinung durch die Annahme, dass bei transversalen Excursionen in der Luft als weitaus dünnerem Stoffe selbstständige Schwingungen angeregt werden, die in dem viel dichtern Wasser wegfallen (vgl. über Res. d. L. im fr. R. S. 14), und dass andererseits longitudinale Schwingungen die Luft in der Weise nicht afficiren (ibidem S. 22, 2.), während sie in das dichtere Wasser ebenso übergehen, als wäre dasselbe Medium, indem sie zuerst entstanden, blos vergrössert; grössere Massen geben, wie sich's noch im weitern Verlaufe zeigen wird, lautern Schall. Ist also die Annahme richtig, so folgt aus allen angeführten Thatsachen weiter, dass durch Interferenz nur die Bildung selbstständiger Schallschwingungen in der Luft, auf die der Schall bei transversalem Stoss zum grössern Theile zurückzuführen ist, verhindert, die im festen Körper bereits vorgebildeten,

wohin auch die Klänge gehören, jedoch nicht aufgehoben werden.

Mit diesen Prämissen erscheinen nun auch die in Höhenwechsel bestehenden Interferenz-Phänomene des klopfenden Schalles leicht aufzuklären. Es muss nämlich der klopfende Schall von Platten aus zwei Theilen, einem tieferen und einem höheren zusammengesetzt gedacht werden, deren ersterer in der Luft, letzterer im festen Körper gebildet wird. Durch die Interferenz wird der erstere einmal verstärkt, einmal geschwächt oder ganz aufgehoben. Im ersten Falle deckt er den höheren ganz, im letzten lässt er ihn deutlich hervortreten. Zwischen beiden Extremen befinden sich allmälige Übergänge, durch welche das continuirliche gleichmässige Höher- und Tieferwerden bei langsamer Annäherung oder Entfernung der Platte von der Wand zu Stande kommt. Durch diese Annahme wird aber auch die Deutung vieler oben angeführten Stimmgabelresonanz-Phänomene recht einfach, so dass diese Deutung abgesehen von allen bereits angeführten Argumenten eine neue Stütze derselben wird. Es muss zu dem Zwecke speciell an folgende, bereits erwähnte Thatsachen erinnert werden:

1. Dass sich bei verschiedenen Platten in bestimmten Entfernungen von der reflectirenden Wand mehr weniger deutlich verschieden hohe Octaven hören lassen, welche in der Regel kürzere Zeit dauern, als die tiefere Resonanz derselben Platte.

2. Dass bei der höheren Gabel der höhere Ton sich bei einer bestimmten Grösse der Platte verliert, bei der tieferen Gabel jedoch noch deutlich hervortritt und erst bei viel grösseren Dimensionen der Platten verschwindet.

3. Dass die höhere Octave an solchen Platten, die zu transversalen Schwingungen unfähig sind, auch ohne Interferenz auftritt, z. B. an dickern Stein-, Metallplatten, an Holzplatten, die gegen die Wand gedrückt werden; ebenso an einzelnen Punkten grosser Glasscheiben, an den Randflächen dicker Holzplatten u. s. w.

4. Dass beim Schwächerwerden der Resonanz allenthalben eine mehr weniger deutliche Erhöhung ihrer Klangfarbe vernehmbar ist.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Alle diese Phänomene erklären sich nun wie gesagt leicht, wenn man annimmt, dass die Impulse des Stimmgabelstiels in den Platten einerseits transversale, andererseits aber auch longitudinale Schwingungen anregen, von denen die ersteren in der Luft einen der Interferenz unterliegenden Klang erzeugen, während letztere schon selbstständig als ein der Interferenz nicht unterliegender Klang vernommen werden. Dass der höhere Klang nur um Octaven sich vom Grundton unterscheidet, ist natürlich, da Schwingungen von jeder anderen Schwingungsdauer durch die primären Impulse aufgehoben werden.

Die Thatsache, dass an klangfähigen Platten, Scheiben und Stäben die Klänge dieselben bleiben, wenn sie transversal oder longitudinal gestossen werden, spricht wohl deutlich dafür, dass durch beide Stossarten jene Schwingungen angeregt werden können, die den Klängen zu Grunde liegen; dass aber diese Schwingungen nur longitudinale sein können, ergibt sich daraus, dass durch longitudinalen Stoss keine transversalen, wohl aber durch transversalen Stoss longitudinale Schwingungen erzeugt werden können.

Es ist mithin das sub 1 angeführte Phänomen dadurch begründet, dass der in der Luft gebildete tiefe Grundton durch Interferenz aufgehoben wird und nun der früher gedeckt gewesene höhere Eigenton der Platte hervortritt. Ähnliches gilt auch von dem sub 3 angeführten; hier wird überhaupt wegen des Mangels oder wegen der Schwäche transversaler Schwingungen entweder gar kein oder nur ein schwacher Luftton gebildet, so dass der höhere Eigenton an Stärke überwiegt; wie denn auch die Interferenz-Erscheinungen an dieser Resonanz selbst da, wo sie vorhanden sind, weitaus schwächer vernommen werden als in andern Fällen. Das sub 2 angeführte Phänomen deutet wohl darauf hin, dass der Eigenton der Platten von deren Dimensionen abhängt; er wird um so tiefer, je grösser die Plattenfläche, und muss demnach früher oder später dem Grundton an Tiefe gleichkommen, in welchem Falle dann eine Unterscheidung beider von einander nicht mehr möglich ist. Es ist nun klar, dass für eine höhere Gabel diese Grenze schon bei kleineren Platten erreicht wird, als für eine tiefere. Schliesslich ist das sub 4 angeführte Phänomen allem Anscheine nach identisch mit dem auf

S. 10 der Abhandlung „Über d. Reson. d. Luft“ erwähnten, dass nämlich die Luft in geschlossenen Hohlräumen eine höhere Resonanz vernehmen lässt, wenn der die Resonanz anregende klopfende Schall von der Mündung des Hohlraumes entfernt wird, mithin die ihm zu Grunde liegenden Schwingungen geschwächt auf den Hohlraum wirken.

Aber auch aus den, auf die Stärke der Resonanz an und für sich bezüglichen Phänomenen lässt sich mindestens e i n allgemeiner Satz entnehmen. Es zeigt sich nämlich, wenn man alle die anfangs angeführten Thatsachen vergleicht, dass die Resonanzstärke innerhalb gewisser Grenzen der Grösse der Stoffmasse proportional ist, und zwar nicht blos der des festen Körpers, sondern auch seiner Wasser- oder Lufthülle; welche letztere aber natürlich nur durch die Grösse ihrer Berührungsfläche mit dem festen Körper zu messen ist, und bei Wasser als einem dichtern Stoffe viel kleiner sein braucht um dieselbe Wirkung zu erzielen, als bei der viel dünnern Luft. Dieser Satz hat insofern eine gewisse theoretische Wichtigkeit, als er mit der mechanischen Bedingung der Schallstärke in Übereinstimmung sein muss. Es ist ein allgemein angenommener Satz, dass die Schallstärke nur von der Schwingungsamplitüde abhänge. Hierauf bezüglich ergeben sich aber aus den obigen Thatsachen eine Reihe von Fragen: Können z. B. die Massentheilchen einer dickern Platte bei ganz gleicher Einwirkung auf ihre Flächen grössere Schwingungsamplitüden beschreiben, als die einer gleich langen und breiten dünnern Platte? Ist es denkbar, dass die Schwingungsamplitüden, die die Theilchen einer Platte in Folge eines longitudinalen Stosses unter Wasser beschreiben grösser seien, als in der Luft, oder dass die von der Wasseroberfläche an die Luft übergehenden Schwingungen in letzterer grössere Amplitüden bewirken, als wenn sie von der Platte direct an sie übergegangen wären? Können die Excursionen einer Platte, wenn eine Stimmgabel transversal auf selbe einwirkt, unter Wasser grösser ausfallen als in der Luft? etc.

Wenn auch eine ganz exacte Analyse aller dieser Fragen vorläufig noch unmöglich ist, so führt doch eine nach Möglichkeit vorgenommene Analyse derselben zu der Wahrscheinlichkeit, dass sie alle verneint werden müssen. Wenn aber in all den Fällen der Schall notorisch lauter wird, ohne dass die

Schwingungsamplituden grösser geworden sein können, so muss die Schallstärke offenbar noch von irgend einem andern mechanischen Momente abhängen, und kann dieses nur in der Schwingungsform zu suchen sein. Die Wichtigkeit dieses Satzes, namentlich in physiologischer Beziehung, wird wohl die vorausgegangene kurze Betrachtung rechtfertigen. Sie soll nur dazu dienen, um die Aufmerksamkeit auf die Frage mit all ihren Consequenzen zu lenken, und eventuell Anknüpfungspunkte zur weitern Untersuchung zu bieten.